



高等学校计算机科学与技术教材

- ✓ 原理与技术的完美结合
- ✓ 教学与科研的最新成果
- ✓ 语言精炼，实例丰富
- ✓ 可操作性强，实用性突出

计算机网络教程

□ 赵家俊 张 俊 编著



清华大学出版社



北京交通大学出版社

高等学校计算机科学与技术教材

计算机网络教程

赵家俊 张 俊 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书主要讲述计算机网络的基本组成、运行原理、各种类型的网络技术和其体系结构,并介绍网络管理和安全的一般知识。内容涵盖了当前计算机网络发展的最新技术,特别介绍了无线局域网、解析Internet等。

本书可作为高等教育和高等继续教育的计算机网络教材,主要对象是理工科学生,特别是计算机专业、信息专业与电子商务专业的学生,也可供从事计算机网络工作的教师、科研人员和工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/赵家俊,张俊编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2005.8

(高等学校计算机科学与技术教材)

ISBN 7-81082-568-2

I. 计… II. ①赵… ②张… III. 计算机网络-高等学校-教材 IV. TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第073741号

责任编辑:吴嫦娥

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185×260 印张:24 字数:574千字

版次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

书号:ISBN 7-81082-568-2/TP·211

印数:1~4000册 定价:32.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前言

计算机网络的应用已经相当普及,我们几乎随处都可以见到各种各样的网络。这表明,实际生活中的计算机孤岛已经濒临绝灭,网络已经成为一种文化,成为人们生存竞争所必须依附的环境。三千年前,孔夫子登泰山而小天下;三千年后的今天,正是 Internet 加快并改变了时代发展的进程,缩短了世界上任何两个目标之间的距离。人和人之间、国家与国家之间、个人和团体之间的交流更加频繁了。网络使用各种方式向我们快速而准确地传递着大量的信息,同时又在生产出各种各样的信息。在 Internet 上传递的信息内容和方式可以说是五彩缤纷,促使人类社会的各个方面都在发生着革命性的变化。由于 Internet,才提出了信息高速公路的概念,电子商务才得以迅速发展;由于 Internet,才诱发了世界范围内的新一轮组织创新浪潮,加快了全球经济一体化的进程,新的网络经济如初升的太阳显示了它无限的生机。

计算机网络应用既然如此之普遍,那么我们当然首先要学会使用它,以提高工作效率和质量;同时也应该逐步了解和掌握网络的一些基本知识,并进而认识其运行的基本原理。一般说来,实践活动并不能代替理性认识。这是因为,感觉到的东西未必能理解它,只有理解了的东西,才能更好地感觉它。在今天以至未来的社会里,理解网络、认识网络不仅是以网络为研究对象的人员需要,对广大的网络使用人员也是需要的。

本书讲述计算机网络的基本组成、运行原理、各种类型的网络技术和其体系结构,介绍网络管理和安全的一般知识,内容涵盖了当前计算机网络发展的最新技术,以满足社会的普遍需求。全书共 10 章,第 1 章介绍计算机网络的形成和发展,网络的基本概念、组成和结构,以及如何对计算机网络进行分类。第 2 章介绍数据通信的基本理论,内容包括信道与信号、信号的传输方式、多路复用技术、差错控制、通信方式和交换方式。第 3 章介绍计算机网络模型,内容包括计算机网络的两类标准、OSI 参考模型与 TCP/IP 模型,以及网络的体系结构。第 4 章介绍广域网技术,先介绍广域网的构成与路由、链路控制、路由选择算法和交通控制,之后,分别介绍了 X.25 建议、帧中继(Frame Relay)、综合业务数字网 ISDN 等几种典型广域网的基本理论和基本技术。第 5 章介绍 ATM 技术,内容包括 B-ISDN、ATM 原理与交换技术、拥塞控制、ATM 与 IP 的结合。第 6 章介绍局域网技术,先介绍了局域网的特点和通信机制、局域网拓扑结构与地址、局域网参考模型、共享介质局域网的介质访问控制方式,之后分别介绍了以太网、高速局域网、交换式局域网、虚拟局域网、千兆以太网、万兆以太网、无线局域网等网络技术。这些局域网技术或者是曾经的霸主,或者是后起的新秀,或者是未来的希望。第 7 章介绍网络互连技术,内容包括网络互连的必要性、解决网络不兼容的途径、网络互连要解决的问题、网络互连的类型、网络互连的层次、网络互连的要求及网络互连设备。第 8 章介绍 Internet 技术,详细论述通过 IP 网关实现不同网络的物理连接,通过运行 TCP/IP 协议实现不同网络的逻辑连接。第 9 章介绍 Internet 的应用,内容包括几个常用的 TCP/IP 应用协议、Internet 的用户接入方式及 Intranet 技术。第 10 章介绍网络安全与网络管理的一般知识,内容包括网络安全的层

次划分、防火墙与监督工具、密码技术、认证与数字签名，以及网络管理功能、网络管理系统、网络信息中心和 SNMP 工作机制。

本书尽量引用计算机原理知识，注重理性和轮廓描述，启迪读者悟性，启发读者兴趣，引导读者理解和领会知识。计算机网络发展很快，新技术层出不穷，因此如何选取材料，抓住主要矛盾，突出重点难点，是非常重要的。编者在这方面进行了一些有益的探索，主要是阅读大量文献，借鉴已有的经验；分配好基本理论、基本实践、各种网络技术、新的网络技术这些内容所占的比重；恰当安排各章节的顺序，使之结构严谨。特别值得一提的是，本书使用了相当的篇幅来介绍无线局域网、解析 Internet，这在目前出版的教材中是不多见的。目前我们所见到的计算机网络教材，基本上都不讲无线局域网，只讲Internet的应用而极少涉及其原理，不能不说是一种缺陷，因为这与移动通信、无线网络技术和 Internet 技术飞速发展的形势很不适应。

本书在编写和出版过程中，得到许多同行的大力支持和帮助，特别是北京交通大学出版社吴嫦娥老师提出了许多宝贵的建议，使作者受益匪浅；清华大学出版社和北京交通大学出版社的领导和编辑付出了大量的辛勤劳动，作者在此一并表示由衷的感谢。我们才疏学浅，虽然想尽力写好，但书中难免会出现错误，请读者指正，作者真诚地感谢。

编 者
2005 年 7 月

目 录

第 1 章 计算机网络概论	(1)
1.1 计算机网络的形成与发展	(1)
1.1.1 计算机与通信技术的结合	(1)
1.1.2 ARPANET 与分组交换技术	(2)
1.1.3 ISO 参考模型的诞生	(3)
1.1.4 局域网的兴起	(4)
1.1.5 TCP/IP 协议的成功	(5)
1.1.6 Internet 的成长	(6)
1.1.7 ATM 模式	(6)
1.1.8 当前计算机网络技术的热点	(7)
1.2 计算机网络的基本概念	(9)
1.2.1 当前计算机网络的基本含义	(9)
1.2.2 其他一些多机系统	(10)
1.2.3 网络计算机	(11)
1.3 计算机网络的功能与应用	(11)
1.3.1 计算机网络的功能	(11)
1.3.2 计算机网络的应用	(12)
1.4 计算机网络的组成	(13)
1.4.1 计算机网络中的硬件	(14)
1.4.2 计算机网络中的软件	(17)
1.5 计算机网络的逻辑结构	(21)
1.6 计算机网络的拓扑结构	(22)
1.6.1 计算机网络的物理连接方式	(22)
1.6.2 物理拓扑分类	(22)
1.6.3 逻辑拓扑分类	(23)
1.7 计算机网络分类	(24)
1.7.1 根据信息传输技术分类	(24)
1.7.2 根据网络覆盖范围分类	(24)
1.7.3 根据网络计算模式分类	(26)
1.7.4 根据是否使用有线介质分类	(27)
1.7.5 根据组建网络的组织分类	(27)
1.7.6 其他网络分类方法	(27)
1.8 网络分类中的疑难	(28)
1.8.1 单一网络技术	(28)

1.8.2 网络互连与互联网	(28)
1.8.3 广域网的概念	(29)
1.8.4 Internet 与网络	(29)
1.8.5 局域网、城域网与广域网	(30)
1.8.6 各种网络类型产生的背景	(30)
练习与思考	(30)

第2章 数据通信基础	(32)
2.1 信道与信号	(32)
2.1.1 信道	(32)
2.1.2 模拟信号与数字信号	(32)
2.1.3 模拟通信与数字通信	(33)
2.2 数字信道	(33)
2.2.1 周期函数的频谱分析	(34)
2.2.2 码元、码元速率与数据速率	(34)
2.2.3 信道延迟	(35)
2.2.4 有限带宽传送	(35)
2.2.5 波特率与信道容量	(37)
2.2.6 误码率	(37)
2.3 物理信道	(38)
2.3.1 双绞线	(38)
2.3.2 基带同轴电缆	(38)
2.3.3 光缆	(39)
2.3.4 无线信道	(40)
2.4 数字信号的传输方式	(43)
2.4.1 数据编码	(43)
2.4.2 数字调制技术	(46)
2.5 模拟信号的数字传送	(46)
2.6 多路复用技术	(47)
2.6.1 概述	(47)
2.6.2 频分多路复用 (FDM)	(48)
2.6.3 时分多路复用 (TDM)	(48)
2.6.4 数字传输系统	(49)
2.6.5 波分多路复用	(49)
2.6.6 码分多路复用	(50)
2.7 差错控制	(50)
2.7.1 差错的起因和特点	(50)
2.7.2 错误的检测与纠正	(50)
2.7.3 检错码	(51)

2.7.4 循环冗余校验码	(51)
2.8 通信方式	(52)
2.8.1 并行数据传送与串行数据传送	(52)
2.8.2 单工通信与双工通信	(53)
2.8.3 通信双方的同步	(53)
2.9 交换方式	(55)
2.9.1 线路交换	(55)
2.9.2 存储转发	(56)
2.9.3 报文交换	(56)
2.9.4 数据报方式	(57)
2.9.5 虚电路方式	(58)
2.10 面向连接的服务与面向无连接的服务	(59)
2.11 连接的三个层次	(60)
练习与思考	(61)
第3章 计算机网络模型	(62)
3.1 计算机网络的标准化	(62)
3.1.1 两类标准	(62)
3.1.2 国际电信联合会	(62)
3.1.3 国际标准化组织	(63)
3.1.4 IAB、IRTF、IETF 与 Internet Society	(63)
3.2 ISO-OSI 参考模型	(64)
3.2.1 物理层	(64)
3.2.2 数据链路层	(65)
3.2.3 网络层	(66)
3.2.4 传输层	(66)
3.2.5 会话层	(67)
3.2.6 表示层	(67)
3.2.7 应用层	(69)
3.3 OSI 参考模型中的数据传送	(70)
3.3.1 数据传送单元和路径	(70)
3.3.2 数据传送操作	(71)
3.4 通信协议与网络的功能特性	(71)
3.4.1 协议与协议栈	(71)
3.4.2 实体和系统	(72)
3.4.3 通信地址	(72)
3.4.4 协议是一组规则的组合	(74)
3.4.5 协议分层	(77)
3.5 计算机网络的体系结构	(78)

3.5.1 接口和服务	(78)
3.5.2 服务原语	(79)
3.5.3 服务与协议	(81)
3.5.4 体系结构分析	(81)
3.5.5 OSI 参考模型的意义	(81)
3.6 TCP/IP 模型.....	(83)
3.6.1 网络接口层	(83)
3.6.2 网络互连层	(83)
3.6.3 传输层	(84)
3.6.4 应用层	(85)
3.6.5 OSI 与 TCP/IP 模型的比较	(85)
3.6.6 TCP/IP 模型的意义.....	(86)
练习与思考	(86)

第4章 广域网技术

4.1 广域网概论	(88)
4.1.1 广域网的参考模型	(88)
4.1.2 广域网的构成	(89)
4.1.3 广域网的地址与路由	(89)
4.2 链路控制	(91)
4.2.1 链路层设计	(91)
4.2.2 链路配置和控制	(95)
4.2.3 流量控制	(97)
4.2.4 差错控制	(100)
4.2.5 HDLC 协议	(103)
4.3 路由选择算法	(108)
4.3.1 路由信息	(109)
4.3.2 两种基本的路由选择算法	(109)
4.3.3 路由选择过程	(109)
4.3.4 最短通路算法	(109)
4.3.5 路由选择策略	(112)
4.4 交通控制	(116)
4.4.1 交通控制技术的分类	(116)
4.4.2 拥挤控制	(117)
4.4.3 三种类型的死锁	(119)
4.4.4 交通控制技术的分级	(121)
4.4.5 ARPANET 中的交通控制.....	(121)
4.5 X.25 建议	(122)
4.5.1 X.25 网络的基本特性	(122)

4.5.2	X.25 协议的层次结构	(123)
4.5.3	X.21 的过程特性	(124)
4.5.4	X.25 分组层协议	(125)
4.5.5	X.25 网的设备	(130)
4.5.6	X.25 的未来	(130)
4.6	帧中继	(130)
4.6.1	帧中继与 X.25 比较	(131)
4.6.2	帧中继的基本原理	(131)
4.6.3	帧中继协议参考模型	(132)
4.6.4	网络设备组成	(134)
4.6.5	用户接入方式	(134)
4.6.6	帧中继的拥塞控制	(135)
4.6.7	帧中继业务应用	(136)
4.7	综合业务数字网	(137)
4.7.1	ISDN 的 3 个基本特征	(137)
4.7.2	ISDN 协议参考模型	(138)
4.7.3	ISDN 结构配置	(138)
4.7.4	主速率接口与基本速率接口	(139)
4.7.5	ISDN 的业务功能	(139)
	练习与思考	(140)

第 5 章	ATM 技术	(142)
5.1	B-ISDN	(142)
5.2	SONET 和 SDH	(143)
5.3	ATM 原理	(145)
5.3.1	基本原理	(145)
5.3.2	虚通路和虚通道	(146)
5.3.3	传输原理	(147)
5.4	B-ISDN 协议参考模型	(148)
5.4.1	模型平面	(148)
5.4.2	模型的层次	(148)
5.5	ATM 的交换技术	(159)
5.6	拥塞控制	(162)
5.7	ATM 与 IP 的结合	(163)
5.7.1	ATM 局域网仿真	(163)
5.7.2	IP over ATM	(168)
5.7.3	MPOA	(169)
	练习与思考	(172)

第 6 章 局域网技术	(173)
6.1 局域网概论	(173)
6.1.1 局域网的发展	(173)
6.1.2 局域网的特点	(173)
6.1.3 局域网的通信机制	(174)
6.1.4 局域网拓扑结构	(174)
6.1.5 局域网地址	(176)
6.2 局域网参考模型	(177)
6.2.1 IEEE 802 标准	(177)
6.2.2 局域网中使用的传输介质	(178)
6.2.3 共享介质局域网分类	(178)
6.2.4 局域网模型	(178)
6.3 共享介质局域网的介质访问控制方式	(181)
6.3.1 CSMA/CD 方法	(181)
6.3.2 Token Bus 方法	(182)
6.3.3 Token Ring 方法	(183)
6.4 以太网	(183)
6.4.1 以太网的技术特性	(184)
6.4.2 IEEE 802.3 以太网的体系结构	(184)
6.4.3 10 Mbps 以太网	(186)
6.5 高速局域网	(190)
6.5.1 发展高速局域网的思路	(190)
6.5.2 快速以太网	(191)
6.5.3 光纤分布式数据接口	(194)
6.6 交换式局域网	(198)
6.6.1 共享式局域网存在的问题	(198)
6.6.2 交换局域网的基本结构	(199)
6.6.3 局域网交换机的工作原理	(199)
6.6.4 局域网交换机的主要技术特点	(200)
6.7 虚拟局域网	(201)
6.7.1 虚拟网络的概念	(201)
6.7.2 虚拟局域网的实现技术	(201)
6.8 千兆以太网	(203)
6.8.1 千兆以太网的技术特点	(204)
6.8.2 千兆以太网的体系结构	(204)
6.8.3 IEEE 802.3z 千兆以太网标准	(205)
6.8.4 IEEE 802.3ab 千兆以太网标准	(206)
6.9 万兆以太网	(206)
6.9.1 万兆以太网的技术特性	(206)

6.9.2 万兆以太网标准 IEEE 802.3ae	(207)
6.10 无线局域网	(209)
6.10.1 无线局域网的用途	(209)
6.10.2 红外线局域网技术	(209)
6.10.3 扩展频谱局域网技术	(210)
6.10.4 无线组网设备	(210)
6.10.5 无线局域网的结构	(211)
6.11 局域网操作系统	(212)
6.11.1 局域网操作系统的演变过程	(213)
6.11.2 对等结构的局域网操作系统	(213)
6.11.3 非对等结构的局域网操作系统	(213)
6.11.4 基于硬盘服务的局域网结构	(214)
6.11.5 基于文件服务的局域网结构	(214)
6.11.6 局域网操作系统的基本服务功能	(215)
6.11.7 典型局域网操作系统: Windows NT Server	(215)
6.11.8 典型局域网操作系统: NetWare	(216)
6.12 客户机/服务器计算模式	(219)
6.12.1 客户机/服务器计算模式的基本概念	(219)
6.12.2 客户机/服务器中的数据库服务器	(219)
6.12.3 客户机/服务器计算模式的特点	(221)
6.12.4 客户机/服务器中的服务器基本类型	(222)
6.12.5 客户机/服务器中的中间件	(223)
练习与思考	(224)

第7章 网络互连技术	(226)
7.1 网络互连的概念	(226)
7.2 网络互连的必要性	(227)
7.3 解决网络不兼容的途径	(228)
7.4 如何实现网络互连	(228)
7.5 网络互连的类型	(229)
7.6 网络互连的层次	(230)
7.7 网络互连设备	(230)
7.7.1 中继器	(231)
7.7.2 网桥	(231)
7.7.3 路由器	(236)
7.7.4 网关	(241)
7.7.5 网络互连设备的比较	(243)
7.7.6 通过网络互连局域网	(243)
练习与思考	(243)

第 8 章 Internet 技术	(245)
8.1 Internet 概念	(245)
8.1.1 Internet 网络的结构	(245)
8.1.2 虚拟网络软件 IP	(246)
8.1.3 TCP 或 UDP 提供程序之间的通信	(246)
8.2 Internet 地址	(246)
8.2.1 IP 地址的结构	(247)
8.2.2 保留的 IP 地址	(248)
8.2.3 特殊意义的 IP 地址	(248)
8.2.4 IP 地址的组织分配	(248)
8.2.5 IP 地址的分配方法	(249)
8.3 子网掩码	(249)
8.3.1 子网掩码的功能	(250)
8.3.2 划分子网的必要性	(250)
8.3.3 如何划分子网	(251)
8.3.4 子网规划	(251)
8.3.5 选择子网掩码的依据	(251)
8.3.6 子网多少与主机数目的关系	(252)
8.3.7 子网掩码的表示方法	(252)
8.4 域名系统 DNS	(253)
8.4.1 域名	(253)
8.4.2 NIC 对第一级域名的规定	(253)
8.4.3 域名管理	(254)
8.4.4 域名服务器	(254)
8.5 地址解析	(255)
8.5.1 从网间网地址到物理地址的映射	(255)
8.5.2 从物理地址到网间网地址的映射	(256)
8.6 Internet 体系结构	(257)
8.7 直接寻径与间接寻径	(258)
8.8 IP 协议: 无连接数据报传送	(262)
8.8.1 IP 层的特点和地位	(262)
8.8.2 TCP/IP 可靠性思想	(263)
8.8.3 IP 数据报	(263)
8.8.4 IP 数据报选项	(267)
8.9 IP 协议: 差错与控制报文	(269)
8.9.1 ICMP 协议与 IP 协议的关系	(269)
8.9.2 ICMP 报文格式	(270)
8.9.3 ICMP 差错报文	(270)

8.9.4	ICMP 控制报文	(273)
8.9.5	ICMP 请求/应答报文对	(275)
8.10	Internet 路径建立与刷新: 寻径协议	(276)
8.10.1	基本的路径广播算法	(277)
8.10.2	内部网关协议	(280)
8.10.3	外部网关协议	(288)
8.11	IPv6	(290)
8.11.1	Internet 面临的问题	(290)
8.11.2	IPv6 的基本原则	(291)
8.11.3	IPv6 的技术要求	(292)
8.11.4	IPv6 的基本规范	(292)
8.11.5	IPv6 的地址结构	(294)
8.11.6	从 IPv4 向 IPv6 过渡	(298)
8.12	Internet 传输层	(299)
8.12.1	TCP 与 UDP	(299)
8.12.2	传输层连接管理	(299)
8.12.3	传输层的其他问题	(303)
8.12.4	用户数据报协议 UDP	(303)
8.12.5	传输控制协议 TCP	(305)
8.13	网间网应用编程接口	(307)
8.13.1	网间网进程通信	(307)
8.13.2	进程的标识	(308)
8.13.3	客户/服务器模型	(308)
	练习与思考	(308)

第9章	Internet 应用	(310)
9.1	TCP/IP 应用协议及应用	(310)
9.1.1	远程登录	(310)
9.1.2	文件传输与访问	(314)
9.1.3	电子邮件	(316)
9.1.4	万维网	(320)
9.1.5	电子公告牌	(321)
9.1.6	网络搜索引擎	(322)
9.2	Internet 的用户接入方式	(324)
9.2.1	Internet 接入服务提供商 ISP	(324)
9.2.2	常见的 Internet 接入方式	(325)
9.2.3	局域网连接共享 Internet	(325)
9.3	局域网接入 Internet 实例	(328)
9.3.1	硬件设备	(328)

9.3.2	ADSL 硬件连接	(329)
9.3.3	ADSL 软件设置	(329)
9.3.4	建立虚拟拨号连接	(330)
9.4	使用 Internet 连接共享	(333)
9.4.1	在 Windows XP 服务器上的操作	(333)
9.4.2	在 Windows XP 客户机上的操作	(334)
9.5	Intranet 技术	(338)
	练习与思考	(341)
第 10 章	网络安全与管理	(342)
10.1	网络安全	(342)
10.1.1	网络安全的层次划分	(342)
10.1.2	访问控制与口令	(345)
10.1.3	防火墙与监督工具	(346)
10.1.4	应用网关与代理服务器	(347)
10.1.5	密码技术	(347)
10.1.6	认证与数字签名	(350)
10.1.7	IP 协议加密与网络安全信息	(350)
10.1.8	入侵检测	(351)
10.1.9	VPN	(352)
10.1.10	IPSec	(354)
10.2	网络管理	(356)
10.2.1	网络管理功能	(356)
10.2.2	网络管理系统	(357)
10.2.3	Internet 协会的管理	(357)
10.2.4	网络信息中心	(358)
10.2.5	网络运行中心的基本概念	(359)
10.2.6	SMI 与 MIB	(361)
10.2.7	SNMP 工作机制	(363)
	练习与思考	(365)
参考文献		(367)

第 1 章 计算机网络概论

本章简述计算机网络的形成与发展过程，解释现在通常所说的计算机网络的含义，认识网络的功能和应用，介绍组成计算机网络的硬件与软件，说明如何对计算机网络进行分类。

1.1 计算机网络的形成与发展

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物，它有一个逐步形成、发展和完善的过程。这个过程目前仍然还在方兴未艾地继续进行，它迅速地改变着人们的生活方式、工作方式和娱乐方式，从而把我们带入信息社会，带入知识经济时代。

1.1.1 计算机与通信技术的结合

自从有了计算机，就有了计算机技术与通信技术的结合。因为计算机与其外围设备之间的数据传送，本质上就是数据通信过程。既然计算机与其外部设备之间可以通信，那么，计算机与终端之间的通信就很容易实现，也就更具有实际意义了。

1951 年，美国麻省理工学院林肯实验室开始为美国空军设计称为 SAGE 的半自动化地面防空系统，并于 1963 年建成。它制定了 1 600 bps 的数据通信规程，提供了高可靠性的多种路径选择算法，是计算机技术和通信技术相结合的先驱。20 世纪 60 年代初期，美国航空公司建成了订票系统 SABRE-1。该系统以一台大型计算机作为中央计算机，连接了遍布美国的 200 多台终端。1968 年投入运行的美国通用电气公司的信息服务系统（GE Information Service）是世界上最大的商用数据处理系统，其地理范围从美国本土延伸到欧洲、澳洲和日本。

以上研究实现了将地理位置分散的多个终端通过通信线路连接到一台中央处理机，组成以单台计算机为中心的联机系统。多个用户在自己的办公室里使用终端键入程序，通过通信线路传送到中心计算机，分时访问和使用中心计算机的资源进行信息处理，处理结果再通过通信线路回送用户终端显示或打印。这类系统实际上是一种分时多用户（终端）系统，它采用集中控制方式，中心计算机是整个系统的控制及处理中心。通常把这类系统叫作以单台计算机为中心的联机系统，或称面向终端的联机（网络）系统，是计算机网络的雏形，如图 1.1（a）所示。

在这类早期的计算机通信网络中，为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担，已经使用了多点通信线路、终端集中器及前端处理机，如图 1.1（b）和图 1.1（c）所示。这些技术对以后计算机网络的发展有着深刻的影响。所谓多点通信线路就是在一条通信线路上串接多个终端，这样，多个终端可以共享同一条通信线路与主机进行通信。终端集中器和前端处理机的作用是类似的，但后者的功能更强一些。终端集中器由一台小型计算机充

当，通过低速线路与各终端连接，通过高速线路与主机连接。它分担主机的通信任务，让主机资源集中于计算；它负责从终端到主机的数据集中和从主机到终端的数据分发；其硬件配置相对简单。前端处理机除了具有终端集中器的功能外，还可以互相连接，并连接多个主机，具有路由选择功能，它可以根据数据包的地址把数据发送到适当主机。

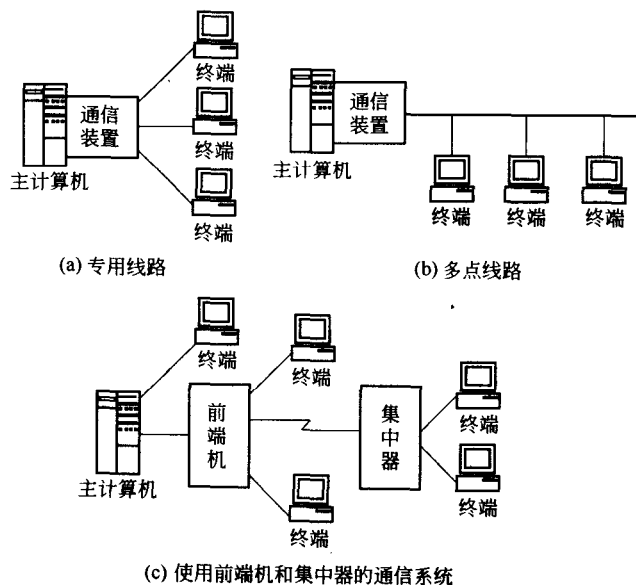


图 1.1 面向终端的计算机通信网络

1.1.2 ARPANET 与分组交换技术

20 世纪 60 年代中期出现了大型计算机，因而提出了对大型主机资源远程共享的要求，以程控交换为特征的电信技术的发展，提供了实现的手段。1969 年底，美国国防部高级计划研究局（DARPA）建成了 ARPANET 实验室，标志着现代意义上的计算机网络的诞生。建网之初，ARPANET 只有 4 个节点。两年后，建成 15 个节点，进入工作阶段。此后，ARPANET 的规模不断扩大。70 年代后期，它的网络节点超过 60 个，具有 100 多台主机，地理范围跨越美洲大陆，连通了美国东部和西部的许多大学和科研机构，又通过卫星与夏威夷和欧洲等地区的计算机网络相互连接。

实践表明，计算机网络技术的发展与计算机操作系统的发展有着密切的关系。1969 年，AT&T 成功开发了多任务分时操作系统 UNIX，而最初的 ARPANET 的所有 4 个节点处理机（Interface Message Processor, IMP）就是采用的装有 UNIX 操作系统的 PDP-11 小型机。由于 UNIX 系统的开放性及 ARPANET 的出现所带来的曙光，许多学术机构和科研部门纷纷加入该网络，使得 ARPANET 在短时期里就得到了较大的发展。

ARPA 网的特点，通常也被认为是现代计算机网络的主要特征，其要点有以下几个方面。

- (1) 它实现了计算机之间的相互通信，称这样的系统为计算机互连网络。
- (2) 它将网络系统分为通信子网与资源子网两部分，网络以通信子网为中心。通信子